

## XXIII Messgröße Druck

Die Kalibrierung von Absolut- und Überdruck findet im innenliegenden Drucklabor der esz AG statt (s.a. Kapitel 3.1.1) dabei wird bevorzugt nach genormten Verfahren des aktuellsten Ausgabedatums kalibriert, z. B.

- DIN EN 837-1:1997-02
- DKD-R 6-1:2014-03
- EURAMET/cg-17 Version 2.0:2011-03

Eine zusätzliche Validierung gemäß QMH Abs. 4.3.4 kann dann entfallen.

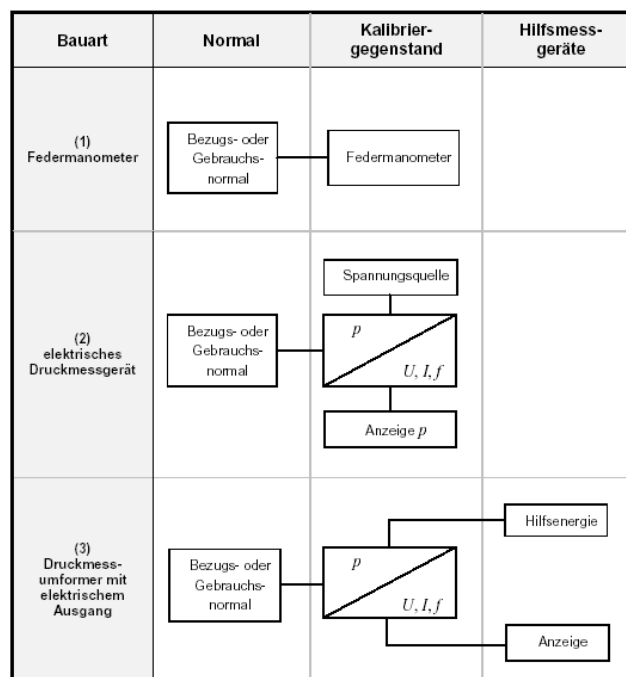
### XXIII.1 Bezugs- und Gebrauchsnormale

Die messtechnische Rückführung wird in QMH Abs. II, Unterpunkt „Druck“, beschrieben.

### XXIII.2 Kalibriergegenstände

(vgl. DKD-R 6-1, Kapitel 4)

Kalibriergegenstände können alle nach DKD-R 6-1-Abbildung 1 genannten Bauarten sein:



Sofern bei der Kalibrierung von Druckmessumformern mit elektrischem Ausgang (3) Hilfsmessgeräte zur Anzeige des elektrischen Signals erforderlich sind, so sind solche des elektrischen Laboratoriums zu verwenden. Zusätzliche Messunsicherheiten werden anhand der Analysen der elektrischen Messung (z.B. Kapitel IV) berücksichtigt.

### XXIII.3 Umgebungsbedingungen

Die Aufzeichnung und Rückführung der Umgebungsbedingungen erfolgt laufend gemäß QMH Abs. I.

Ausgabe:	erstellt	geprüft/ genehmigt	Kapitel	Seite
DMS.13	von: PF am: s.DMS	von: s. DMS am: s. DMS	Qualitätsmanagementhandbuch - XXIII Messgröße Druck	1

## XXIII.4 Kalibrierverfahren

Detaillierte Festlegungen zur Auswahl von Messpunkten und Umgang mit der Kalibriersoftware sind in <https://dms.esz-ag.de/technik/Arbeitsanweisungen/AA0227-Druckkalibrierung-nach-DKD-R-6-1.docx> enthalten.

### XXIII.4.1 Kalibrierverfahren nach DKD-R 6-1, Kapitel 7

Gemäß Richtlinie gilt

- Das Druckmessgerät wird i.d.R. als Gesamtheit (Verbund/ Messkette) kalibriert.
- Die vorgeschriebene Einbaulage wird berücksichtigt
- Die Kalibrierung wird an gleichmäßig über den Kalibrierbereich verteilten Messpunkten durchgeführt.
- Anzahl der Messreihen gemäß Kalibrierablauf A, B oder C
- Vorbelastungs-, Beharrungs-, Lastwechselzeit >30 Sekunden
- Haltezeit am Endwert 2 Minuten

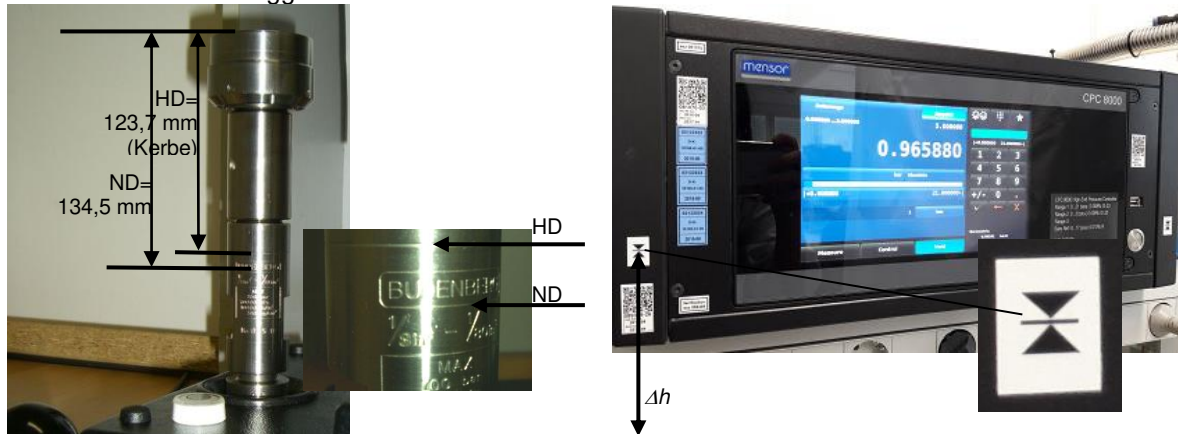
Für den Vergleich der Anzeigen von Normal und Kalibriergegenstand wird entweder

- der Zeiger des Messobjektes auf Skalendeckung gebracht und der zugehörige Referenzwert am Normal abgelesen (für Zeigermanometer zweckmäßig) oder
- der Druck direkt am Normal vorgegeben und eingestellt.

Zur Druckerzeugung in Luft dient im permanenten Labor üblicherweise eine Stickstoffversorgung (>200 bar) bzw. eine Vakuumpumpe (bis <50 mbar absolut), die über geeignete Druckregler und Ventile an die Normale und Kalibriergegenstände angeschlossen sind. Vor Ort können handbetätigte Druckpumpen eingesetzt werden.

#### Druckbezugsebenen

Für die Bestimmung des hydrostatischen Drucks aufgrund der Höhendifferenz sind die Bezugsebenen der Normale ausschlaggebend:

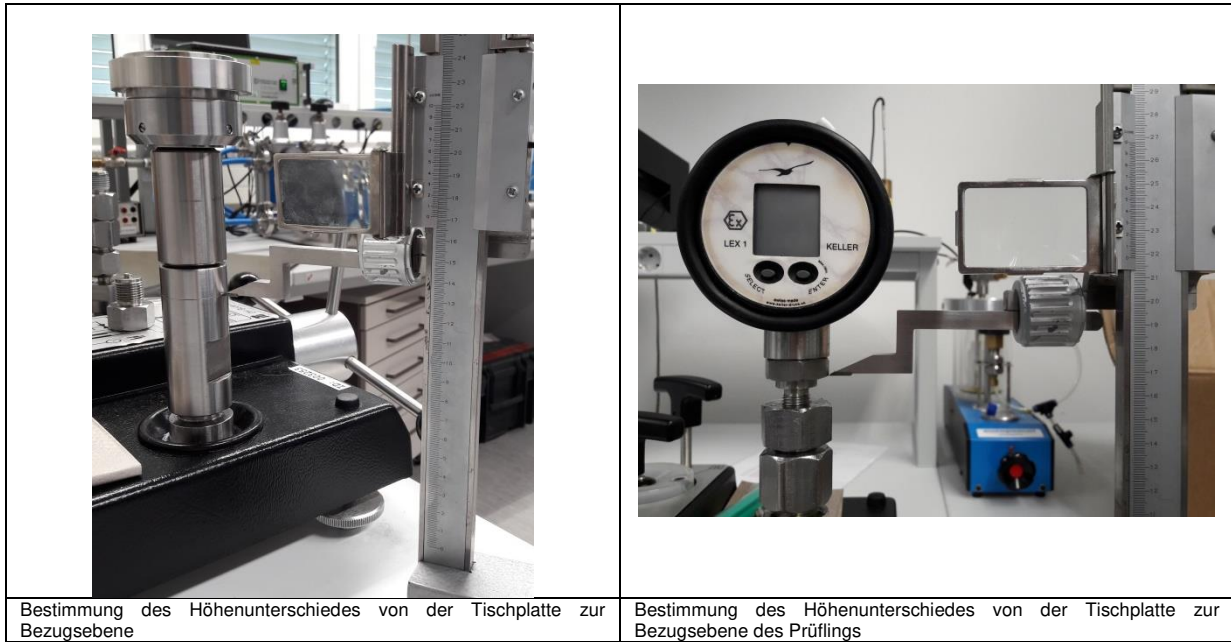


Druckbezugsebenen des Druckkolbenmanometers für den Druckbezugsebene des elektrischen Druckcontrollers Hochdruck (HD)- und Niederdruck (ND)-Bereich

Zur Bestimmung der hydrostatischen Korrektur aufgrund der Höhendifferenz der Druckbezugsebenen zwischen Normal und Kalibriergegenstand sind geeignete Längenmessgeräte nötig. Dieses ist so zu wählen, dass bei den elektrischen Normalen eine Unsicherheit von  $\pm 5$  mm dargestellt werden kann.

Bei der Messung mit dem Kolbenmanometer ist ein hinreichend genaues Messgerät (bspw. ein Höhenreißer) zu verwenden, so dass die Messung bei <10 bar in jedem Fall mit einer Unsicherheit besser als  $\pm 1$  mm dargestellt werden kann. Bei einer Messung >10 bar ist eine Unsicherheit von  $\pm 5$  mm ausreichend.

Ausgabe:	erstellt	geprüft/genehmigt	Kapitel	Seite
DMS.13	von: PF am: s.DMS	von: s. DMS am: s. DMS	Qualitätsmanagementhandbuch - XXIII Messgröße Druck	2



### XXIII.4.2 Einpunktkalibrierverfahren

Bei barometrischen Druckmessgeräten zur Erfassung des Umgebungsluftdrucks, die auch die Möglichkeit zur Messung von Luftfeuchte und Raumtemperatur besitzen, muss tlw. bauartbedingt bzw. nach Vereinbarung mit dem Kunden die Druckkalibrierung auf einen Messpunkt bei Umgebungsluftdruck eingeschränkt werden. Die Kalibrierung des vollen Bereiches eines derartigen Druckmessgerätes, der in der Regel zwischen 700 mbar und 1300 mbar beträgt, muss nicht zwingend erforderlich sein, wenn das Gerät lediglich zur Überwachung von Abweichungen **des** Umgebungsluftdruckes verwendet wird. Die Umgebungsluftdruckspanne beträgt an einem Ort normalerweise nicht mehr als 40 mbar, weshalb eine Betrachtung von Abweichung, Umkehrspanne etc. über den gesamten Bereich nicht erforderlich ist. Da die Einpunktkalibrierung der Druckmessfunktion nicht den Kalibrierabläufen nach DKD-R 6-1 entspricht, erfolgt keine zwangsläufige Vergrößerung der kleinsten angebbaren Messunsicherheit (im Gegensatz zu DKD-R 6-1 Ablauf B und C). Die angegebene Messunsicherheit versteht sich gemäß dem Modell der Messung dann immer für den einzelnen Messschritt zum Zeitpunkt der Ablesung und nur am erfassten Messpunkt (Kalibrierwert).

### XXIII.5 Messunsicherheit

Zur Berechnung der Messunsicherheit ist es zweckmäßig das Kalibrierverfahren in Untermodelle für Normal, Verfahren und Kalibriergegenstand aufzuteilen

#### XXIII.5.1 Modellgleichung Kolbenmanometer

Unter Verwendung der Symbole und Benennungen aus DKD-R 6-1, Abs. 2, gilt für die Druckerzeugung am Kolbenmanometer (Druckwaage) aus der Methodengleichung  $p = \frac{m \cdot g}{A}$  die

Druckgleichung<sup>1</sup> als

$$p = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \cdot g_i \cdot \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_m}\right) + V \cdot (\rho_l - \rho_{amb}) + 2\sqrt{\pi A_0} \cdot \sigma}{A_0 \cdot [1 + (\alpha + \beta) \cdot (t - 20^\circ\text{C})] \cdot (1 + \lambda \cdot p)} + \Delta\rho \cdot g_1 \cdot \Delta h [+ p_{abs}]$$

$$\Delta\rho = \rho_{Fl} - \rho_a$$

<sup>1</sup> in Pascal = 10<sup>-5</sup> bar

Ausgabe:	erstellt	geprüft/genehmigt	Kapitel	Seite
DMS.13	von: PF am: s.DMS	von: s. DMS am: s. DMS	Qualitätsmanagementhandbuch - XXIII Messgröße Druck	3

Zusammengefasst mit

$$KN = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \cdot g_n \cdot \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_m}\right) + V \cdot (\rho_l - \rho_{amb}) + 2\sqrt{\pi A_0} \cdot \sigma}{A_0}$$

Summe der Überdruckwerte, berechnet mit Hilfe der im Kalibrierschein angegebenen Werte der Massen für jede Auflage und des Querschnitts, sowie Korrektur der Auftriebskraft und Oberflächenspannung.

$$C_{g_1} = \frac{g_l}{g_n}$$

Korrektionsfaktor aufgrund der Abweichung der lokalen Fallbeschleunigung  $g_l$  zur Normalfallbeschleunigung  $g_n=9,80665 \text{ m/s}^2$ . Auf der Ortshöhe des Kalibrierlabors von 528,9 m und den geographischen Daten

- 48,1593 ° Nördliche Breite und
- 11,3223 ° Östliche Länge

ergibt sich die lokale Fallbeschleunigung<sup>2</sup> zu  $g_l = (9,807300 \pm 0,000022) \text{ m/s}^2$ , Normalverteilung  $k=2$

$$C_{\Theta} = 1 - (\alpha + \beta) \cdot (t - 20^\circ\text{C})$$

Korrektionsfaktor für Abweichungen aufgrund der Ausdehnungskoeffizienten von Kolben- und Zylindermaterial bei von der im Kalibrierschein des Normals abweichenden Temperaturen. Für den ND-Kolben und HD-Zylinder aus Wolfram Karbid und den HD-Kolben und ND-Zylinder aus Stahl ist der thermische Flächenausdehnungskoeffizient im Kalibrierschein des Kolbenmanometers angegeben

$$(\alpha + \beta) = (15 \pm 2) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

$\lambda$

Deformationskoeffizient aus dem Kalibrierschein

$$\lambda = (6,4 \pm 1,3) \cdot 10^{-7} \text{ bar}^{-1} \text{ im Bereich 1 bar bis 60 bar und}$$

$$\lambda = (1,42 \pm 0,71) \cdot 10^{-7} \text{ bar}^{-1} \text{ im Bereich 10 bar bis 700 bar}$$

$\Delta\rho$

Differenz aus Öl- und Luftdichte  $\Delta\rho = \rho_{Fl} - \rho_a$  mit

$$\rho_{\text{Öl}} = (855 \pm 50) \text{ kg m}^{-3}$$

$$\rho_{\text{Luft}} = (1,2 \pm 0,1) \text{ kg m}^{-3}$$

gilt für die Berechnung der Öldichte  $\rho_{Fl}$  in Abhängigkeit vom Druck  $p$

$$\rho_{Fl} = \rho_{\text{Öl}} \cdot (1 + 0,000082 \text{ bar}^{-1} \cdot p)$$

und für die Berechnung der Luftdichte  $\rho_a$  in Abhängigkeit von Temperatur  $t$  und absolutem Druck  $p$  mit  $T=273,15 \text{ K}$

$$\rho_a = \rho_{\text{Luft}} \cdot \frac{p_{\text{abs}} \cdot (T + 20)}{(T + t)}$$

<sup>2</sup> PTB Gravity Information System, <http://www.ptb.de/cartoweb3/SISproject.php>

Ausgabe:	erstellt	geprüft/ genehmigt	Kapitel	Seite
DMS.13	von: PF am: s.DMS	von: s. DMS am: s. DMS	Qualitätsmanagementhandbuch - <b>XXIII Messgröße Druck</b>	4

$\Delta h$

gemessene Höhendifferenz zwischen der unteren Kolbenfläche und der Druckbezugsebene des Messobjektes, z.B. (0 ± 0,005) m

$p_{abs}$

Barometrischer Druck bei der Umrechnung von Überdruck in Absolutdruck

ergibt sich die Modellgleichung

$$p = KN \cdot C_g \cdot C_{\ominus} \cdot (1 - \lambda \cdot p) + \Delta\rho \cdot g_1 \cdot \Delta h [+ p_{abs}]$$

### XXIII.5.2 Tabellarische Aufstellung der Messunsicherheitsbilanz

Größe $X_i$	Schätzwert $x_i$	Halbweite $a$	Verteilung	Standardunsicherheit $u(x_i)$	Sensitivität <sup>3</sup> $c_i$	Unsicherheitsbeitrag $u(y_i)$	Einheit
Überdruck lt. Summe der Masseauflagen	$KN_{\Sigma}$	$U_{KN}$	Normal	$u(KN) = \frac{U_{KN}}{2}$	$c_{KN} = 1$	$u_{KN}$	bar
Temperatur	$t_K$	$a_t$	Rechteck	$u(t) = \frac{a_t}{\sqrt{3}}$	$c_t = -(\alpha + \beta) \cdot p$	$u_t$	bar
Thermischer Längenausdehnungskoeffizient	$(\alpha + \beta)$	$a_{\alpha}$	Rechteck	$u(\alpha) = \frac{a_{\alpha}}{\sqrt{3}}$	$c_{\alpha} = (t - 20 \text{ °C}) \cdot p$	$u_{\alpha}$	bar
Fallbeschleunigung	$g_1$	$a_g$	Normal	$u(g) = \frac{a_g}{2}$	$c_g = \frac{p}{g_n}$	$u_g$	bar
Deformationskoeffizient *	$\lambda$	$a_{\lambda}$	Rechteck	$u(\lambda) = \frac{a_{\lambda}}{\sqrt{3}}$	$c_{\lambda} = -p^2$	$u_{\lambda}$	bar
g-T-korrigierter Druck	$korr_1$				$u_{korr1} = \sqrt{u_{KN}^2 + u_t^2 + u_{\alpha}^2 + u_g^2 + u_{\lambda}^2}$		bar
Bestimmung der Dichtedifferenz	$\Delta\rho$	$a_{\rho FI}$ $a_{\rho PA}$	Rechteck	$u(\Delta\rho) = \sqrt{\frac{1}{3}(a_{\rho FI}^2 + a_{\rho PA}^2)}$	$c_{\Delta\rho} = g \cdot h$	$u_{\Delta\rho}$	bar
Fallbeschleunigung	$g_1$	$a_g$	Normal	$u(g) = \frac{a_g}{2}$	$c_{g'} = \Delta\rho \cdot h$	$u_{g'}$	bar
Höhendifferenz	$\Delta h$	$a_{\Delta h}$	Rechteck	$u(\Delta h) = \frac{a_{\Delta h}}{\sqrt{3}}$	$c_{\Delta h} = \Delta\rho \cdot g$	$u_{\Delta h}$	bar
hydrostatischer Druck durch Höhendifferenz	$korr_2 = \Delta\rho \cdot g_1 \cdot \Delta h$				$u_{korr2} = \sqrt{u_{\Delta\rho}^2 + u_{g'}^2 + u_{\Delta h}^2}$		bar
Unsicherheit des Normals	$p_{Normal}$				$u_{Normal} = \sqrt{u_{korr1}^2 + u_{korr2}^2} (+ u_{nom})$		bar
	absolute erweiterte Messunsicherheit (k=2)				$U_{Normal} = k \cdot u_{Normal} = 2 \cdot \sqrt{u_{korr1}^2 + u_{korr2}^2}$		bar
	relative erweiterte Messunsicherheit (k=2)				$W_{Normal} = \frac{U_{Normal}}{KN_{\Sigma}}$		

\*Bereits in der gesamt Unsicherheit enthalten.

Müssen Absolutdruckaufnehmer an Prüfmitteln kalibriert werden, die lediglich Relativdruck anzeigen/erzeugen, so muss für jeden Messschritt der aktuelle barometrische Luftdruck berücksichtigt werden. Somit gilt mit der Unsicherheit  $U(p_e)$  des Überdrucks und der Unsicherheit des Barometers  $U(p_{baro})$  für die erweiterte Messunsicherheit des Absolutdrucks  $U(p_{abs})$

$$U(p_{abs}) = \sqrt{U(p_e)^2 + U(p_{baro})^2}$$

<sup>3</sup>  $C_g \approx C_{\ominus} \approx (1 - \lambda \cdot p) \approx 1$  und  $KN \approx p$

### XXIII.5.3 Rechenbeispiele Druckkolbenmanometer

siehe mitgeltende XL-Tabellen/ Berechnungen

<http://dmserver/technik/Messunsicherheiten/QMH-Tabellen/Druck/Messunsicherheiten-Tabelle-XXIII-Druck-Oel.xlsx>

### XXIII.5.4 Modellgleichung eines elektrischen Normals

Für die Kalibrierung an den elektrischen Normalen kann die Modellgleichung für den erzeugten Druck formuliert werden zu:

$$p = p_{\text{Anzeige}} - \Delta p_{\text{Anzeige}} + \delta p_{\text{Kal}} + \delta p_{\text{Drift}} + \delta p_{\text{Auflösung}} + \Delta \rho \cdot g_1 \cdot \Delta h [\pm p_{\text{amb}}]$$

mit

$p_{\text{Anzeige}}$  angezeigter (abgelesener) Druck am Normal

Anzeigekorrektur, entnehmbar oder als Korrekturformel berechenbar aus dem Kalibrierschein des Normalen. Die „Qualität“ der Anzeigekorrektur, d.h. die verbleibende Differenz zwischen den (bspw. elektronisch oder mathematisch) korrigierten Werten und der ermittelten Abweichung des Normalen (entnehmbar aus dem Kalibrierschein) wird als Grenze eines normal<sup>4</sup>-, rechteck<sup>5</sup>- oder u<sup>6</sup>-verteilten Unsicherheitsintervall verwendet.

$\Delta p_{\text{Anzeige}}$

Der Anteil wird oft zu Null gesetzt (z. B. bei Gebrauchsnormalen), da er in der Spezifikation enthalten ist.

$\delta p_{\text{Kal}}$

Kalibrierunsicherheit( Bestimmung von  $\Delta p_{\text{Anzeige}}$  )

Drift des Normalen seit der letzten Kalibrierung. Es wird die bei den Druckstufen mittlere nullpunktbereinigte Drift<sup>7</sup> ermittelt und daraus der größte Wert als Grenze einer Rechteckverteilung angenommen.

$\delta p_{\text{Drift}}$

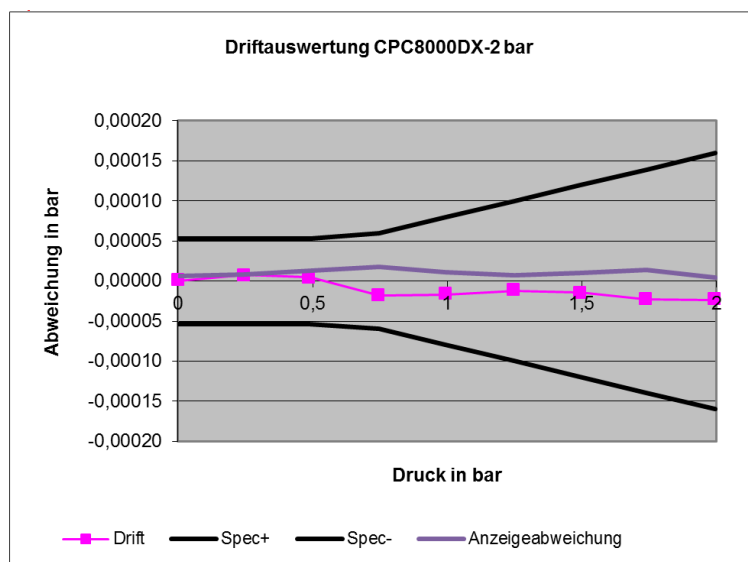


Bild XXIII.5.4.1 Beispiel für Driftauswertung eines 2 bar-Normalen

<sup>4</sup> bei Zusammenfassung mehrerer Werte und Bestimmung der gewurzelten mittleren quadratischen Abweichung (RMSE) von der Korrekturfunktion

<sup>5</sup> bei Zusammenfassung mehrerer Werte und Verwendung des Maximalwertes

<sup>6</sup> bei „stützpunktgenauer“ Betrachtung an jedem Punkt einzeln

<sup>7</sup> Drift nach Nullabgleich gegen Vakuum oder Umgebungsdruck

Ausgabe:	erstellt	geprüft/ genehmigt	Kapitel	Seite
DMS.13	von: PF am: s.DMS	von: s. DMS am: s. DMS	Qualitätsmanagementhandbuch - XXIII Messgröße Druck	6

Ohne Betrachtung von Korrektur und Drift eines Normals wird an dieser Stelle oft die Spezifikation (Akzeptanzkriterien/ Toleranzgrenzen, z.B. bei Gebrauchsnormalen) verwendet. Ist zusätzlich das Verhältnis zwischen Toleranz und Kalibrierunsicherheit (sog. *Test Uncertainty Ratio, TUR*) groß genug ( $TUR \geq 4$ ) oder liegen bei der Konformitätsaussage alle Messwerte bei Berücksichtigung der Messunsicherheit innerhalb der Spezifikation (vgl. ILAC-G8:03/2009-Fig.1-Case 1), so lässt sich die Gesamtunsicherheit des (Gebrauchs-)Normals vereinfacht alleine durch das Spezifikationsintervall ausdrücken.

$\delta p_{\text{Auflösung}}$

Die Auflösung des Normals entspricht dem Ziffernschritt ( $r = 1$  Digit) der Anzeige, d.h. die Halbbreite einer Rechteckverteilung ergibt sich als der halbe Wert der Auflösung zu  $a = \pm r/2$ .

Für die Umrechnung von **Absolutdruck in Überdruck** muss der barometrische Umgebungsdruck von der Anzeige subtrahiert werden (Tara-Messung vor der Messreihe). Während der Messung müssen die barometrischen Druckschwankungen im Zeitintervall zwischen Tara-Messung und Ende der Messreihe korrigiert oder als Unsicherheitsintervall berücksichtigt werden. Die genaue Abweichung des verwendeten Barometers spielt bei dieser Methode keine Rolle. Als Unsicherheitsintervall ist bei permanentem barometrischem Ausgleich lediglich die Auflösung (Ziffernschritt) oder die Stabilität (Differenz der Anzeige zwischen Anfang und Ende der Messreihe) des verwendeten bzw. eingebauten Barometers zu berücksichtigen (Rechteckverteilung), sofern dessen Linearität in kleinem Bereich als ideal angenommen werden kann oder durch eine Kontrollmessung nachgewiesen wurde.

$p_{\text{amb}}$

Für die Umrechnung von **Überdruck in Absolutdruck** muss der barometrische Umgebungsdruck auf Höhe der Druckbezugsebene auf den angezeigten Messwert addiert werden. In diesem Fall ist die Abweichung und Unsicherheit des Barometers zu berücksichtigen. Diese Daten sind dann dem Kalibrierschein bzw. der MU-Bilanz (Unterbilanz) des Barometers zu entnehmen (Normalverteilung,  $k = 2$ ).

### XXIII.5.5 Tabellarische Aufstellung der Messunsicherheitsbilanz

Größe $X_i$	Schätzwert $x_i$	Halbbreite $a$	Verteilung	Standardunsicherheit $u(x_i)$	Sensitivität $c_i$	Unsicherheitsbeitrag $u(y_i)$	Einheit
angezeigter Druck	$p_{\text{Anzeige}}$						
Anzeige-korrektur	$\Delta p_{\text{Anzeige}}$	$a_{\text{Anzeige}}$	u-verteilt	$u(\Delta p) = \frac{a_{\text{Anzeige}}}{\sqrt{2}}$	$c_{\Delta p} = -1$	$u_{\Delta p}$	bar
Kalibrierung	$\delta p_{\text{Kal}}$	$U_{\text{Kal}}$	Normal	$u(\delta p_{\text{Kal}}) = \frac{U_{\text{Kal}}}{2}$	$c_{\text{Kal}} = 1$	$u_{\text{Kal}}$	bar
Drift	$\delta p_{\text{Drift}}$	$a_{\text{Drift}}$	Rechteck	$u(\delta p_{\text{Drift}}) = \frac{a_{\text{Drift}}}{\sqrt{3}}$	$c_{\text{Drift}} = 1$	$u_{\text{Drift}}$	bar
Auflösung	$\delta p_{\text{Auflösung}}$	$a_{\text{Auflösung}}$	Rechteck	$u(\delta p_{\text{Auflösung}}) = \frac{a_{\text{Auflösung}}}{\sqrt{3}}$	$c_{\text{Auflösung}} = 1$	$u_{\text{Auflösung}}$	bar
Umgebungsdruck	$p_{\text{amb}}$	$a_{\text{amb}}$	Rechteck	$u(p_{\text{amb}}) = \frac{a_{\text{amb}}}{\sqrt{3}}$	$c_{\text{amb}} = 1$	$u_{\text{amb}}$	bar
Druck am Normal	$korr_1$				$u_{\text{korr1}} = \sqrt{u_{\Delta p}^2 + u_{\text{Kal}}^2 + u_{\text{Drift}}^2 + u_{\text{Auflösung}}^2}$		bar

<b>Ausgabe:</b> DMS.13	<b>erstellt</b> von: PF am: s.DMS	<b>geprüft/genehmigt</b> von: s. DMS am: s. DMS	<b>Kapitel</b> Qualitätsmanagementhandbuch - XXIII Messgröße Druck	<b>Seite</b> 7
---------------------------	---	---	---	-------------------

Bestimmung der Dichtedifferenz	$\Delta\rho$	$a_{pFl}$ $a_{pa}$	Rechteck	$u(\Delta\rho) = \sqrt{\frac{1}{3}(a_{pFl}^2 + a_{pa}^2)}$	$c_{\Delta\rho} = g \cdot h$	$u_{\Delta\rho}$	bar
Fallbeschleunigung	$g_1$	$a_g$	Normal	$u(g) = \frac{a_g}{2}$	$c_g = \Delta\rho \cdot h$	$u_g$	bar
Höhendifferenz	$\Delta h$	$a_{\Delta h}$	Rechteck	$u(\Delta h) = \frac{a_{\Delta h}}{\sqrt{3}}$	$c_{\Delta h} = \Delta\rho \cdot g$	$u_{\Delta h}$	bar
hydrostatischer Druck durch Höhendifferenz	$kor_{r2} = \Delta\rho \cdot g_1 \cdot \Delta h$			$u_{kor2} = \sqrt{u_{\Delta\rho}^2 + u_g^2 + u_{\Delta h}^2}$			bar
Unsicherheit des Normals	$p_{Normal}$			$u_{Normal} = \sqrt{u_{kor1}^2 + u_{kor2}^2}$			bar
	absolute erweiterte Messunsicherheit ( $k=2$ )			$U_{Normal} = k \cdot u_{Normal} = 2 \cdot \sqrt{u_{kor1}^2 + u_{kor2}^2}$			bar
	relative erweiterte Messunsicherheit ( $k=2$ )			$W_{Normal} = \frac{U_{Normal}}{p_{Anzeige}}$			

### XXIII.5.6 Rechenbeispiel für elektrische Normale wie WIKA CPC8000-DX

siehe mitgeltende XL-Tabellen/ Berechnungen

<http://dmsserver/technik/Messunsicherheiten/QMH-Tabellen/Druck/Messunsicherheiten-Tabelle-XXIII-Druck2016-Stickstoff.xlsx>

### XXIII.5.7 Federmanometer und elektrische Druckmessgeräte

Gemäß DKD-R 6-1-8.3.1 lässt sich die Modellgleichung der Messabweichung  $\Delta p$  einer Druckstufe bei getrennter Betrachtung der Auf- und Abwärtsreihen formulieren zu:

$$\Delta p_{auf/ab} = p_{Anz,auf/ab} - p_{Normal} + \delta p_{Nullpunktabweichung} + \delta p_{Wiederholpräzision}$$

mit

$p_{Anz,auf/ab}$

Angezeigter Wert des Kalibriergegenstandes. Die Auflösung der Anzeige des Kalibriergegenstandes ergibt sich bei Federmanometern aus dem Verhältnis der Zeigerbreite zum Mittenabstand, z.B. 1/2 oder 1/5. Bei Digitalinstrumenten entspricht die Auflösung dem Ziffersschritt (1 Digit), sofern die Anzeige nicht mehr als einen Ziffersschritt schwankt.

$\delta p_{Nullpunktabweichung}$

Die Halbbreite der Nullpunktabweichung ergibt sich als Differenzbetrag der aufgezeichneten Anzeigen vor und nach jedem Messzyklus bei vollständiger Entlastung

$$a_{Null} = \max\{|p_{Anz,M2,0bar} - p_{Anz,M1,0bar}|, |p_{Anz,M4,0bar} - p_{Anz,M3,0bar}|, |p_{Anz,M6,0bar} - p_{Anz,M2,0bar}|\}$$

$\delta p_{Wiederholpräzision}$

Nach Nullstellung des Kalibriergegenstandes vor jedem Messzyklus gilt für die Halbbreite der Wiederholbarkeit korrespondierender Werte der Messreihen

$$a_{WH} = \max\{|p_{Anz,M3} - p_{Anz,M1}|, |p_{Anz,M4} - p_{Anz,M2}|\}$$

<b>Ausgabe:</b> DMS.13	<b>erstellt</b> von: PF am: s.DMS	<b>geprüft/ genehmigt</b> von: s. DMS am: s. DMS	<b>Kapitel</b> Qualitätsmanagementhandbuch - XXIII Messgröße Druck	<b>Seite</b> 8
---------------------------	---	--	---	-------------------



**Tabellarische Aufstellung der Messunsicherheitsbilanz**

Größe $X_i$	Schätzwert $x_i$	Halbbreite $a$	Verteilung	Standardunsicherheit $u(x_i)$	Sensitivität $c_i$	Unsicherheitsbeitrag $u(y_i)$	Einheit
Normal	$p_{Normal}$	$U_{Normal}$	Normal	$u(p_{Normal}) = \frac{U_{Normal}}{2}$	$c_{Normal} = -1$	$u_{Normal}$	bar
Anzeige	$p_{Anz,auf/ab}$	$a_{Auflösung}$	Rechteck	$u(p_{Anz}) = \frac{a_{Auflösung}}{\sqrt{3}}$	$c_{Auflösung} = 1$	$u_{Auflösung}$	bar
Nullpunktabweichung	$\delta p_{Nullpunktaw.}$	$a_{Nullp}$	Rechteck	$u(\delta p_{Nullp}) = \frac{a_{Nullp}}{\sqrt{3}}$	$c_{Nullp} = 1$	$u_{Nullp}$	bar
Wiederholpräzision	$\delta p_{Wiederholpräz.}$	$a_{WH}$	Rechteck	$u(\delta p_{WH}) = \frac{a_{WH}}{\sqrt{3}}$	$c_{WH} = 1$	$y_{WH}$	bar
Messabweichung	$\Delta p_{auf/ab} = p_{Anz,auf/ab} - p_{Normal}$				$u_{\Delta p} = \sqrt{u_{Normal}^2 + u_{Auflösung}^2 + u_{Nullp}^2 + u_{WH}^2}$		
	absolute erweiterte Messunsicherheit ( $k=2$ )				$U_{\Delta p} = k \cdot u_{\Delta p} = 2 \cdot u_{\Delta p}$		
	relative erweiterte Messunsicherheit ( $k=2$ )				$W_{\Delta p} = \frac{U_{\Delta p}}{p_{Normal}}$		

**XXIII.5.8 Druckmessumformer mit elektrischem Ausgang**

Für Druckmessumformer mit druckproportionalem Spannungs- oder Stromausgang (Ausgangssignal  $V_{out}$ ) gilt mit der Empfindlichkeit<sup>8</sup>  $S$

$$p_{Anz} = S \cdot V_{out}$$

und damit

$$\Delta p_{auf/ab} = S \cdot V_{out,auf/ab} - p_{Normal} + \delta p_{Nullpunktabweichung} + \delta p_{Wiederholpräzision}$$

mit

$V_{out,auf/ab}$

gemessenes Ausgangssignal des Druckaufnehmers. Die beizuordnende Messunsicherheit für Strom, Spannungs- oder Widerstandsanzeige errechnet sich gemäß den Modellen aus QMH Abs. IV.

Die **Tabellarische Aufstellung der Messunsicherheitsbilanz** erweitert sich damit als

Größe $X_i$	Schätzwert $x_i$	Halbbreite $a$	Verteilung	Standardunsicherheit $u(x_i)$	Sensitivität $c_i$	Unsicherheitsbeitrag $u(y_i)$	Einheit
Normal	$p_{Normal}$	$U_{Normal}$	Normal	$u(p_{Normal}) = \frac{U_{Normal}}{2}$	$c_{Normal} = -1$	$u_{Normal}$	bar
Ausgangssignal	$v_{out,auf/ab}$	$a_{out}$	Normal	$u(p_{Anz}) = \frac{a_{out}}{2}$	$c_{out} = S$	$u_{out}$	bar
Nullpunktabweichung	$\delta p_{Nullpunktaw.}$	$a_{Nullp}$	Rechteck	$u(\delta p_{Nullp}) = \frac{a_{Nullp}}{\sqrt{3}}$	$c_{Nullp} = 1$	$u_{Nullp}$	bar
Wiederholpräzision	$\delta p_{Wiederholpräz.}$	$a_{WH}$	Rechteck	$u(\delta p_{WH}) = \frac{a_{WH}}{\sqrt{3}}$	$c_{WH} = 1$	$y_{WH}$	bar
Messabweichung	$\Delta p_{auf/ab} = S \cdot v_{out} - p_{Normal}$				$u_{\Delta p} = \sqrt{u_{Normal}^2 + u_{out}^2 + u_{Nullp}^2 + u_{WH}^2}$		
	absolute erweiterte Messunsicherheit ( $k=2$ )				$U_{\Delta p} = k \cdot u_{\Delta p} = 2 \cdot u_{\Delta p}$		
	relative erweiterte Messunsicherheit ( $k=2$ )				$W_{\Delta p} = \frac{U_{\Delta p}}{p_{Normal}}$		

<sup>8</sup> z. B. 10 V/bar

### XXIII.5.9 Ergebnisse

Die detaillierten Berechnungen der verschiedenen Bedingungen und Druckbereiche sind den mitgeltenden Excel-Tabellen

<http://dmserver/technik/Messunsicherheiten/QMH-Tabellen/Druck/Messunsicherheiten-Tabelle-XXIII-Druck2016-Stickstoff.xlsx>

zu entnehmen. Die Ergebnisse werden im aktuellen Leistungsnachweis (Anlage zur Akkreditierung) geführt.

### XXIII.6 Gebrauchsnormale und vor-Ort Kalibrierung

Ortsveränderliche Gebrauchsnormale werden sowohl im Labor als auch vor-Ort verwendet. Daneben ist es grundsätzlich sogar möglich die Bezugsnormale vor-Ort beim Kunden einzusetzen. Es stehen hierfür spezielle Transportkisten für das Druckkolbenmanometer und die Auflagen zur Verfügung sowie geeignete Transportbehälter für die übrigen Normale. Bei vor-Ort Einsätzen wird in Plausibilitätsprüfungen an den Bezugsnormalen die ordnungsgemäße Funktion und Einhaltung der Messunsicherheit vor und nach dem Transport überprüft. Sofern die in Kapitel XXIII.3 genannten Umgebungsbedingungen eingehalten und ermittelt werden können ist bekannt, dass die spezifizierten Messunsicherheiten mindestens mit einem Faktor  $U_{\text{vor-Ort}} \leq 1,25 \cdot U_{\text{Labor}}$  anwendbar sind. Die Abläufe und Rahmenbedingungen von vor-Ort-Kalibrierungen werden in QMH Abs. XXII genannt und durch Checklisten und Regieaufträge festgehalten (siehe [AA0099-Checkliste-vor-Ort-Einsatz](#)).

### XXIII.7 Zwischenprüfungen der Normale

Um die ordnungsgemäße Funktion der Normale im Drucklabor zu garantieren, werden in regelmäßigen Abständen (mindestens 6 Monate) dokumentierte Zwischen- und Plausibilitätsprüfungen durchgeführt. Art, Umfang und Akzeptanzkriterien der Zwischenprüfungen werden in separaten Anweisungen festgehalten, z. B.

<http://dms.esz-ag.de/technik/Arbeitsanweisungen/AA0148-Verifikation-Druckcontroller.docx>

<http://dms.esz-ag.de/technik/Arbeitsanweisungen/AA0266-Verifikation-Druckwaage.doc>

<http://dms.esz-ag.de/technik/Arbeitsanweisungen/AA0340-Kontrollmessung-von-Bezugsnormalen.doc>

<http://dms.esz-ag.de/technik/Arbeitsanweisungen/AA0352-Verifikation-Ruska-7250xi.docx>

### XXIII.8 Kalibrierscheine

Gemäß oder zusätzlich zu den in DAkkS-DKD-5 enthaltenen Forderungen werden im Kalibrierschein folgende Angaben dokumentiert:

- Auflösung des Kalibriergegenstandes, Messbereichs- und Klassenangabe des Herstellers
- Druckübertragungsmittel und dessen Dichte bei Normalbedingungen
- Druckbezugsebene am Kalibriergegenstand
- Lage des Kalibriergegenstandes bei Kalibrierung
- gewählte Einstellungen am Kalibriergegenstand

Ausgabe:	erstellt	geprüft/genehmigt	Kapitel	Seite
DMS.13	von: PF am: s.DMS	von: s. DMS am: s. DMS	Qualitätsmanagementhandbuch - <b>XXIII Messgröße Druck</b>	10



© esz AG, 2018

Dieses Werk ist unter einer Creative Commons Lizenz vom Typ Namensnennung - Nicht-kommerziell - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International zugänglich. Um eine Kopie dieser Lizenz einzusehen, konsultieren Sie <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/> oder wenden Sie sich brieflich an Creative Commons, Postfach 1866, Mountain View, California, 94042, USA.

<b>Ausgabe:</b>	<b>erstellt</b>	<b>geprüft/ genehmigt</b>	<b>Kapitel</b>	<b>Seite</b>
DMS.13	von: PF am: s.DMS	von: s. DMS am: s. DMS	Qualitätsmanagementhandbuch - <b>XXIII Messgröße Druck</b>	11